Arbeiten des pflanzen-physiologischen Institutes der k. k. deutschen Universität in Prag.

XI. Beiträge zur Kenntniss der absoluten Festigkeit von Pflanzengeweben.

II. Theil.

Von Dr. **Franz Lukas,**
k. k. Gymnasial-Lehrer in Krumau.

Im I. Theile dieser Beiträge[1] wurde als Aufgabe derselben hingestellt, sowohl verschiedene Pflanzengewebe in Bezug auf ihre absolute Festigkeit zu untersuchen und mit einander zu vergleichen, als auch dem Grunde der Verschiedenheit in der Festigkeit eines und desselben Gewebes bei verschiedenen Pflanzen und verschiedener Gewebe bei derselben Pflanze nachzugehen.

Dort sind eine Reihe von Pflanzengeweben in Bezug auf ihre absolute Festigkeit untersucht und verglichen worden.

Um nun hier den Grund der ungleichen Festigkeit verschiedener Gewebe kennen zu lernen, wurde zunächst Collenchym und Xylem von *Heracleum Sphondylium* genommen und in Bezug auf die Festigkeit untersucht, und zwar wurden die untersten Internodien vollständig ausgewachsener Pflanzen gewählt, so dass anzunehmen war, dass die Gewebe den höchsten Grad ihrer Entwicklung erreicht haben.

Die Versuche ergaben folgende Resultate:

---

[1] Sitzb. d. k. Akad. d. W. LXXXV. I. Abth. April-Heft Jahrg. 1882.

Collenchym von *Heracleum Sphondylium:*

Tabelle I.

Versuch:	Länge:	Ausdehnung:	bleibende Ausdehnung:	*a* Flächeninhalt des Querschnittes:	Festigkeitsmass:	Festigkeitsmass für 0·01 □ Mm.:	Differenz vom Mittel:	*b* Flächeninhalt der Lumina:	*c* Flächeninhalt der Zellwände:	Verhältniss von *c* : *a*:	Verhältniss von *b* : *a*:	Verhältniss von *b* : *c*:	Festigkeitsmass für 0·01 □ Mm. der Zellwand:	Differenz vom Mittel:
	Mm.	Mm.	Mm.	□ Mm.	Gr.	Gr.	Gr.	□ Mm.	□ Mm.				Gr.	Gr.
1	36	2	1	0·08846	845	94·6	+6·8	0·02267	0·06579	1:1·34	1:3·9	1:2·9	128·4	+5·8
2	66	—	—	0·11136	957·5	84·2	—3·6	0·03180	0·07957	1:1·4	1:3·5	1:2·5	120·4	—2·2
3	38·6	1·4	0·5	0·13881	1226	88·4	+0·6	0·03965	0·09916	1:1·4	1:3·5	1:2·5	123·6	+1
4	31	—	—	0·15640	1320	84·3	—3·5	0·04471	0·11169	1:1·4	1:3·5	1:2·5	118·1	—4·5
				Mittel		87·8							122·6	

Das durchschnittliche Festigkeitsmass für 0·01 □ Mm. des Querschnittes ist 87·8 Gr., für 0·01 □ Mm. der Zellwand 122·6 Gr.[1] Das Verhältniss von Lumen zu Zellwand wurde hier und in allen folgenden Versuchen mittelst derselben Methode bestimmt, die Ambronn bei seinen Versuchen auf den Rath Schwendener's anwandte.[2]

[1] Bedeutender als bei *Archangelica off.* und *Conium maculatum.*

[2] H. Ambronn: Entwicklungsgeschichte und mechanische Eigenschaften des *Collenchyms* in Pringsheims bot. Jahrb. 12. Bd. 4. H. 1881. p. 521. Es wurde das Bündel möglichst genau gezeichnet, die Zeichnung des ganzen Bündels abgewogen, dann die Lumina herausgeschnitten und das übrige, also die Zellwände, wieder abgewogen. Das Verhältniss der erhaltenen Gewichte ist auch das Verhältniss der betreffenden Flächeninhalte.

Zu den Versuchen 2, 3 und 4 wurde dasselbe Bündel benützt, desshalb das Verhältniss nur für den 2. Versuch bestimmt, da wohl anzunehmen ist, dass sich dasselbe im Verlaufe des kurzen Bündels nicht bedeutend ändere.

Xylem von *Heracleum Sphondylium:*

Tabelle II.

Versuch:	Länge:	Ausdehnung:	bleibende Ausdehnung:	Flächeninhalt des Querschnittes: (a)	Festigkeitsmass:	Festigkeitsmass für 0·01 □Mm.:	Diffezenz vom Mittel:	Flächeninhalt der Lumina: (b)	Flächeninhalt der Zellwände: (c)	Verhältniss von c : a:	Verhältniss von b : a:	Verhältniss von b : c:	Festigkeitsmass für 0·01 □Mm. der Zellwand:	Differenz vom Mittel:
	Mm.	Mm.	Mm.	□ Mm.	Gr.	Gr.	Gr.	□ Mm.	□ Mm.				Gr.	Gr.
1	32	0·5	0·3	0·0457	1330	293·2	+ 0·2	0·0153	0·0304	1:1·5	1:3	1:2	437·5	+3·8
2	16	0·25	—	0·0611	1410·5	230·6	—63·6	0·0278	0·0332	1:1·8	1:2·2	1:1·2	423·9	—9·8
3	4	—	—	0·0457	1624	355·3	+62·3	0·0088	0·0369	1:1·24	1:5·1	1:4·1	439·8	+6·1
				Mittel		293							433·7	

Das durchschnittliche Festigkeitsmass für 0·01 □Mm. des gesammten Querschnittes ist 293 Gr., das für 0·01 □Mm. der Zellwand 433·7 Gr. Die Differenzen der einzelnen Versuche vom mittleren Festigkeitsmass für 0·01 □Mm. des Querschnittes sind bedeutend und zwar desshalb, weil zu jedem Versuche ein anderes Stück des herauspräparirten Xylemringes benützt wurde. In dem zum zweiten Versuche benützten Bündel waren viele Gefässe vorhanden, daher das Festigkeitsmass gering und der Exponent des Verhältnisses des Flächeninhaltes der Lumina zu dem der Zellwände gross. Beim ersten Versuche waren die weitlumigen Gefässe schon weniger

zahlreich, daher der Exponent kleiner und das Festigkeitsmass schon grösser. Beim dritten Versuche endlich bestand das Bündel fast nur aus Libriform. Desshalb ist hier das Festigkeitsmass am grössten und der Exponent am kleinsten. Wegen dieser Verschiedenheiten im Querschnitte des Bündels war es nothwendig, das Verhältniss vom Lumen zu Zellwand in jedem einzelnen Falle zu bestimmen. — Aber trotz der Verschiedenheit der Festigkeitsmasse für 0·01 □Mm. des gesammten Querschnittes bei den einzelnen Versuchen musste erwartet werden, dass die Festigkeitsmasse für 0·01 □Mm. der Zellwand nahezu gleich sein werden und das ist auch wirklich der Fall.

Durch Vergleichung beider Tabellen wird ersichtlich, dass die Festigkeit des Xylems bedeutend grösser ist als jene des Collenchyms. Die Festigkeitsmasse[1] beider Gewebe verhalten sich wie 3·53 : 1. Das des Xylems ist demnach mehr als $3\frac{1}{2}$mal so gross als das des Collenchyms.[2]

Um nun die Ursache dieser bedeutenden Verschiedenheit zu finden, war es nothwendig, die Zellformen beider Gewebe zu untersuchen.

Vergleicht man nun die beiden Tabellen III und IV (siehe pag. 5 u. 6), so findet man zunächst, dass die grösste Länge der Collenchymzelle (1·7 Mm.) jene der Xylemzelle (1·361 Mm.) um etwa $\frac{1}{5}$ ihrer Länge übertrifft. Die mittleren Zellenlängen verhalten sich wie 1·22 : 1. Auch die Querdurchmesser variiren, aber in umgekehrtem Sinne.

Während nämlich der Längsdurchmesser der Collenchymzelle grösser ist als jener der Xylemzelle, übertrifft der grösste Querdurchmesser der Xylemzelle (0·0196 Mm.) jenen der Collenchymzelle (0·0186 Mm.) um etwa $\frac{1}{20}$ seiner Grösse. Die

---

[1] Im Folgenden sei unter Festigkeitsmass, wenn nicht ausdrücklich anders erwähnt, immer das für 0·01 □ Millimeter der Zellwand gemeint.

[2] Auf die Bestimmung der Dehnbarkeit wurde derzeit keine besondere Sorgfalt verwendet, aber doch ist aus den Tabellen ersichtlich, dass das Collenchym um $\frac{1}{18}$ bis $\frac{1}{27}$, das Xylem aber nur um $\frac{1}{64}$ seiner Länge ausgedehnt wurde, so dass das im 1. Th. p. 23 ausgesprochene Resultat bestätigt wird, wonach die Dehnbarkeit in verkehrtem Verhältnisse mit der Festigkeit stehe.

Zellformen des Collenchyms von *Heracleum Sphondylium:*

Tab. III.

Zelle:	*a* Längsdurchmesser der Zelle:	*b* Querdurchmesser:	Verhältniss von *b:a*:	*c* Querdurchmesser des Lumens:	*d* Querdurchmesser der beiden Zellwände:	Verhältniss von *d:b*:	Verhältniss von *c:b*:	Verhältniss ven *c:d*:	Flächeninhlt. d. Lumens zu dem der ganzen Zelle:	Verhältniss d. Flächeninhlt. des Lumens zu d. Zellwand:	Neigungswinkel der Zellwände:	Querwände:	Poren:	Reaction:
	Mm.	Mm.		Mm.	Mm.									
1	0·9345	0·01602	1:58·3	0·00587	0·01015	1 : 1·56	1 : 2·72	1 : 1·72	1 : 7·39	1 : 6·39	15—20°	1—3 senkrechte	sehr wenige, longitudinal Länge = 0·003 Mm. Breite = 0·001 Mm. Entfernung von einander 0·01 bis 0·04 Mm.	Zellstoff
2	1·0146	0·01602	1:63·3	0·00587	0·01015	1 : 1·56	1 : 2·72	1 : 1·72	1 : 7·39	1 : 6·39				
3	1·068	0·01335	1:80	0·00801	0·00534	1 : 2·5	1 : 1·66	1·5 : 1	1 : 2·75	1 : 1·75				
4	1·41	0·01682	1:87·3	0·00841	0·00841	1 : 2	1 : 2	1 : 1	1 : 4	1 : 3				
5	1·468	0·01602	1:91·6	0·01068	0·00534	1 : 3	1 : 1·5	2 : 1	1 : 2·25	1 : 1·25				
6	1·7	0·01869	1:90·9	0·00801	0·01068	1 : 1·75	1 : 2·33	1 : 1·33	1 : 5·42	1 : 4·42				
Mittel	1·2658	0·01615	1:78·3	0·00781	0·00834	1 : 1·94	1 : 2·07	1 : 1·07	1 : 4·28	1 : 3·28				

mittleren Querdurchmesser verhalten sich wie 1 : 1·07. Es ist desshalb natürlich, dass das durchschnittliche Verhältniss von Quer- zu Längsdurchmesser beim Collenchym (1:78·3) einen kleineren Quotienten hat als das des Xylems (1:69·1). (Dieses Verhältniss variirt beim Collenchym von 1:58·3 bis 1:91·6, beim Xylem von 1:32·8 bis 1:99·5.) Der Querdurchmesser wächst nicht mit dem Längsdurchmesser, beim Xylem fällt sogar die grösste Dicke der Zelle zusammen mit der kleinsten Länge, daher wird der Quotient des Verhältnisses von

Zellformen des Xylems von *Heracleum Sphondylium*:

Tab. IV. *a* *b* *c* *d*

Zelle:	Längsdurchmesser der einzelnen Zellen:	Querdurchmesser:	Verhältniss von *b* : *a*:	Querdurchmesser des Lumens d. einzelnen Zelle:	Querdurchmesser der Wände der Zellen:	Verhältniss von *d* : *b*:	Verhältniss von *c* : *b*:	Verhältniss von *c* : *d*:	Verhältniss des Flächeninhaltes des Lumens der einzelnen Zelle im Querschnitte zu dem der ganzen Zelle:	Verhältniss des Flächeninhlt. der Zellwand zu dem der ganzen Zelle:	Flächeninhalt des Lumens zur Zellwand:	Neigungswinkel:	Poren:	Reaction:
	Mm.	Mm.		Mm.	Mm.									
1	0·644	0·01960	1 : 32·8	0·00840	0·01120	1 : 1·75	1 : 2·33	1 : 1·33	1 : 5·42	1 : 1·24	1 : 4·42	15—20°	sehr zahlreich, links schief, mit der Längsaxe longitudinal oder Winkel bis 30° bildend, Breite = 0·0006 Mm., Länge: 0·0027 bis 0·0053 Mm., Entfernung: 0·0027—0·018 Mm.	Verholzung.
2	0·728	0·01400	1 : 52	5·00700	0·00700	1 : 2	1 : 2	1 : 1	1 : 4	1 : 1·33	1 : 3			
3	0·801	0·01335	1 : 60	0·00543	0·00792	1 : 1·68	1 : 2·45	1 : 1·45	1 : 6	1 : 1·2	1 : 5			
4	0·840	0·01680	1 : 50	0·00560	0·01120	1 : 1·5	1 : 3	1 : 2	1 : 9	1 : 1·12	1 : 8			
5	0·854	0·01590	1 : 53·7	0·00795	0·00795	1 : 2	1 : 2	1 : 1	1 : 4	1 : 1·33	1 : 3			
6	1·215	0·01220	1 : 99·5	0·00483	0·00737	1 : 1·6	1 : 2·52	1 : 1·52	1 : 6·35	1 : 1·18	1 : 5·35			
7	1·294	0·01356	1 : 95·1	0·00678	0·00678	1 : 2	1 : 2	1 : 1	1 : 4	1 : 1·33	1 : 3			
8	1·305	0·01400	1 : 93·2	0·00468	0·00932	1 : 1·5	1 : 2·99	1 : 1·99	1 : 8·94	1 : 1·12	1 : 7·94			
9	1·335	0·01468	1 : 90·9	0·00544	0·00924	1 : 1·59	1 : 2·69	1 : 1·69	1 : 7·23	1 : 1·16	1 : 6·23			
10	1·361	0·01596	1 : 85·6	0·00590	0·01000	1 : 1·59	1 : 2·69	1 : 1·69	1 : 7·23	1 : 1·16	1 : 6·23			
Mittel	1·0377	0·01501	1 : 69·1	0·00620	0·00881	1 : 1·7	1 : 2·42	1 : 1·42	1 : 5·85	1 : 1·206	1 : 4·85			

Dicke zu Länge mit der zunehmenden Länge kleiner. Die Quotienten beider Verhältnisse beim Collenchym und beim Xylem verhalten sich wie 1 : 1·3.

Ob der Zellenlänge, überhaupt dem Verhältnisse von Längs- zu Querdurchmesser ein Einfluss auf die Festigkeit zukomme, bleibe vorderhand unentschieden. Von vornherein wäre man geneigt, lieber einem Zellgewebe mit längerem als einem solchen mit kürzeren Zellen eine grössere Festigkeit zuzuschreiben.[1] Jedenfalls aber ist dadurch, dass die Xylemzellen um etwa $^1/_5$ ihrer Länge kürzer sind als jene des Collenchyms, die $3^1/_2$mal so grosse Festigkeit des Xylems nicht erklärbar.

Die Neigungswinkel der Zellwände wurden bei beiden Geweben nahezu gleich gefunden, hierin dürfte demnach nicht der Grund für die Verschiedenheit in der Festigkeit liegen, ebenso wird die Querfächerung der Collenchymzellen weder von besonderem Nachtheil noch Vortheil sein, da die einzelne Zelle nicht in dem Querschnitte zerreissen wird, in dem die Querwand liegt, da eben in diesem Falle das Gewicht eine grössere Fläche der Zellwand zu überwinden hätte.

Da der Inhalt entweder flüssig oder luftförmig ist, dürfte er überhaupt nicht von Einfluss sein, denn der Turgor des flüssigen oder die Expansivkraft des gasförmigen Zellinhaltes ist beim ausgewachsenen Collenchym und Xylem wohl gering.

Die Poren waren beim Collenchym sehr spärlich, longitudinal gestellt, in senkrechter Richtung ziemlich weit von einander abstehend. Die Poren beim Xylem waren sehr zahlreich, longitudinal oder mit der Längsaxe Winkel bis zu 30° bildend. Das scheint zu Gunsten einer grösseren Festigkeit des Collenchyms zu sprechen. Wenn man aber bedenkt, dass auch beim Xylem in derselben Querschnittsfläche der Zelle höchstens zwei bis drei Poren liegen und die Breite einer Pore eine ganz geringe ist, also auf keinen Fall mehr als etwa $^1/_8$ der Querschnittsfläche verloren geht, so wird klar, dass auch der Einfluss der Poren auf die Festigkeit nur ein geringer sein kann.

---

[1] Beim ganzen Bündel erwies sich die Länge ohne Einfluss auf die Festigkeit. I. Theil p. 6.

Die bisher erwähnten Unterschiede in den Zellformen des Collenchyms und Xylems sind nach dem Vorstehenden wohl nicht geeignet, den Unterschied in der Festigkeit zu erklären.

So bleibt nun noch der Einfluss der Zellwandverdickung und des Verhaltens gegen chemische Reagentien zu beurtheilen.

In den Tabellen III und IV sind die Verhältnisse vom Querdurchmesser des Zelllumens zu dem der Zellwand und die Verhältnisse beider zum ganzen Querdurchmesser angegeben; diese Verhältnisse wurden umgerechnet in die der entsprechenden Flächeninhalte des Querschnittes, welche Verhältnisse im Mittel dann auch für den Querschnitt des ganzen Bündels gelten und somit mit dem in Tab. I und II gefundenen Verhältnisse vom Flächeninhalte der Lumina zu dem der Zellwände übereinstimmen müssen. Und wirklich wurde dieses Verhältniss aus den Zellformen beim Collenchym, obwohl dasselbe Verhältniss bei den einzelnen gemessenen Zellen bedeutend variirt, da es ja eben darauf ankam, ob der Längsschnitt die ungleich verdickte Zelle in einer mehr oder weniger verdickten Stelle traf, im Mittel 1:3·28 gefunden, während in Tabelle I 1:2·9 erhalten wurde. Der Unterschied ist nicht bedeutend, denn es würde das Festigkeitsmass für 0·01 □ Mm. der Zellwand für den ersten Versuch der Tab. I nach dem aus den Zellformen erhaltenen Verhältnisse (1:3·28) berechnet 125 Gr. betragen, während dort 128·4 Gr. gefunden wurde.

Ebenso wurden beim Xylem aus den in Tab. IV erhaltenen Verhältnissen von Querdurchmesser des Lumens, der Zellwand und der ganzen Zelle zu einander die betreffenden Verhältnisse der Flächeninhalte berechnet und für das Verhältniss von Flächeninhalt des Lumens zu dem der Zellwand 1:4·85 erhalten, während dasselbe Verhältniss in Tab. II beim dritten Versuche, wo fast nur Libriform war, 1·41 gefunden worden war. Das Festigkeitsmass dieses Versuches, nach dem in Tab. IV erhaltenen Verhältnisse (1:4·85) berechnet, würde 429·1 Gr. betragen, während in Tab. II für denselben Versuch 439·8 Gr. gefunden worden war, also auch hier ein geringer Unterschied, ein Beweis dafür, dass sowohl in Tab. I und II die Bestimmung von Festigkeit und Flächeninhalt als auch in Tab. III und IV die an den Zellformen vorgenommenen Messungen richtig sind.

Nennen wir die Zahl, welche angibt, wie viel vom Gesammtquerschnitte (= 1) Zellwand ist, das Verdickungsmass, so finden wir als das Verdickungsmass des Collenchyms aus Tab. III (3·28:4·28) = 0·766 im Mittel, als das des Xylems aus Tab. IV (4·88:5·85) = 0·829, das heisst, beim Collenchym ist vom Querschnitte 1 der Flächeninhalt der Zellwände = 0·766, das übrige (0·234) Lumen, beim Xylem 0·829 Zellwand, das übrige Lumen. Es ist demnach das Xylem (0·829:0·766) = 1·082mal so stark verdickt als das Collenchym.

Wenn man nun den Unterschied in der Zellenlänge (etwa $^1/_5$ der Länge) und den Verlust an Zellwand durch die Poren (etwa $^1/_8$ der Zellwand) zu Gunsten des Xylems in Rechnung bringt — obwohl beides viel eher zu Gunsten des Collenchyms wirken dürfte —, so dass also in Folge aller bisher berücksichtigten Unterschiede in den Zellformen beider Gewebe die Festigkeit des Xylems $1·082 + {}^1/_5 + {}^1/_8 = 1·407$mal so gross sein sollte als die des Collenchyms, so ist dadurch noch immer nicht das 3·53mal so grosse Festigkeitsmass des Xylems erklärt, es ist daher ein noch immer bedeutender Überschuss an Festigkeit auf Rechnung eines anderen Factors zu setzen. Da nun von den in den Tabellen III und IV ersichtlichen Unterschieden in den Zellformen beider Gewebe nichts mehr zu berücksichtigen übrig bleibt als das Verhalten gegen chemische Reagentien, und gefunden wurde, dass das Collenchym reine Zellstoffreaction, das Xylem aber starke Verholzung zeigt, so ist wohl der Schluss gerechtfertigt, dass von der grossen Festigkeit des Xylems von *Heracleum Sphondylium* ein beträchtlicher Theil auf Rechnung der Verholzung zu setzen ist.

Um zu sehen, ob dieses Resultat auch allgemeine Geltung habe, wurde noch eine zweite *Umbellifera* mit stark ausgebildetem Collenchym und Xylemringe gewählt, nämlich:

Angelica silvestris.

Während bei *Heracleum* zuerst die Festigkeit und dann die Zellform untersucht wurde, wurde hier umgekehrt vorgegangen, nämlich zuerst die Zellformen bestimmt und gemessen, um von diesen auf die Festigkeit und von den Verschiedenheiten in der Zellform von Collenchym und Xylem auf die verschiedene

Festigkeit beider Gewebe schliessen zu können, sodann erst wurde die Festigkeit durch Versuch bestimmt, um zu sehen, ob jene aus den Zellformen berechnete Festigkeit mit der durch Versuche gefundenen übereinstimme. Ist das der Fall, dann ist wohl anzunehmen, dass jene Eigenschaften der Zelle, durch deren Berücksichtigung die Festigkeit des Gewebes voraus bestimmt wurde, auch wirklich von Einfluss sein werden.

Die Messungen lassen sich in folgenden zwei Tabellen zusammenstellen:

Zellformen des Collenchyms von *Angelica silvestris:*

Tab. V.

Zelle:	*a* Längsdurchmesser:	*b* Querdurchmesser:	Verhältniss von *b* : *a*:	*c* Querdurchm. d. beiden Zellwände d. einzelnen Zelle:	*d* Querdurchmesser des Lumens:	*e* Verhältniss von *c* : *b*:	*f* Verhältniss von *d* : *b*:	*g* Verhältniss von *c* : *d*:	*e* überrechn. auf das Verhältn. d. betreff. Flächeninh.	*f* überrechn. in d. Verhältniss der Flächeninhalte:	*g* überrechn. in d. Verhältniss der Flächeninhalte	Neigungsw.	Poren:	Reaction:
	Mm.	Mm.		Mm.	Nm.									
1	1·149	0·02136	1 : 53·7	0·01202	0·00934	1 : 1·77	1 : 2·28	1·286 : 1	1 : 1·23	1 : 5·19	1 : 4·19	10—25°	sehr spärlich, longitudinal Länge = 0·004—0·008 Mm. Breite = 0·0013 Mm. Entfernung in senkrechter Richtung = 0·0013—0·069 Mm.	reiner Zellstoff
2	1·250	0·01730	1 : 72·2	0·00546	0·01184	1 : 3·16	1 : 1·46	1 : 2·16	1 : 1·46	1 : 2·13	1 : 1·13			
3	1·280	0·01602	1 : 80	0·00534	0·01068	1 : 3	1 : 1·59	1 : 2	1 : 1·65	1 : 2·528	1 : 1·528			
4	1·335	0·02136	1 : 62·5	0·00801	0·01335	1 : 2·66	1 : 1·6	1 : 1·66	1 : 1·64	1 : 2·56	1 : 1·56			
5	1·361	0·01869	1 : 72·8	0·00534	0·01335	1 : 3·5	1 : 1·4	1 : 2·5	1 : 2·04	1 : 1·96	1 : 0·96			
6	1·423	0·02136	1 : 66·6	0·00534	0·01602	1 : 4	1 : 1·33	1 : 3	1 : 2·3	1 : 1·769	1 : 0·769			
7	1·464	0·01869	1 : 78·3	0·00534	0·01335	1 : 3·5	1 : 1·4	1 : 2·5	1 : 2·04	1 : 1·96	1 : 0·96			
Mittel	1·323	0·01925	1 : 68·7	0·00669	0·01256	1 : 2·877	1 : 1·548	1 : 1·877	1 : 1·74	1 : 2·349	1 : 1·349			

Zellformen des Xylems von *Angelica silvestris*:

Tab. VI.

Zelle:	*a* Längsdurchmesser:	*b* Querdurchmesser:	Verhältniss von *b*:*a*:	*c* Querdurchm. der beiden Wände der einzelnen Zelle:	*d* Querdurchmesser des Lumens:	*e* Verhältniss von *c*:*b*:	*f* Verhältniss von *d*:*b*:	*g* Verhältniss von *d*:*c*:	*e* umgerechnet in das Verhältniss der betreffenden Flächeninhlt.	*f* umgerechnet in d. Verhältniss der Flächeninhalte:	*g* umgerechnet in d. Verhältniss der Flächeninhalte:	Neigungsw.	Poren:	Reaction:
	Mm.	Mm.		Mm.	Mm.									
1	0·38715	0·01602	1 : 24·1	0·01068	0·00534	1 : 1·5	1 : 3	1 : 2	1 : 1·12	1 : 9	1 : 8	10—35°	zahlreich, links-schief, longitudinal oder Winkel bis 30° bildend Breite = 0·0006 Mm. Länge = 0·002—0·004 Mm. Entfernung: 0·0016—0·016 Mm.	Verholzung.
2	0·56070	0·01869	1 : 20·7	0·01068	0·00801	1 : 1·74	1 : 2·33	1 : 1·33	1 : 1·23	1 : 5·42	1 : 4·42			
3	0·57405	0·01335	1 : 40·7	0·00801	0·00534	1 : 1·66	1 : 2·5	1 : 1·5	1 : 1·19	1 : 6·25	1 : 5·25			
4	0·58206	5·01468	1 ; 39·6	0·00934	0·00534	1 : 1·57	1 : 2·75	1 : 1·75	1 : 1·15	1 : 7·56	1 : 6·56			
5	0·58740	0·01669	1 : 35·2	0·01135	0·00534	1 : 1·47	1 : 3·1	1 : 2·1	1 : 1·11	1 : 9·6	1 : 8·6			
6	0·61410	0·01522	1 : 40·3	0·00587	0·00935	1 : 2·59	1 : 1·62	1·59 : 1	1 : 1·61	1 : 2·62	1 : 1·62			
7	0·69420	0·02216	1 : 31·3	0·01148	0·01068	1 : 1·93	1 : 2·07	1 : 1·07	1 : 1·304	1 : 4·28	1 : 3·28			
8	0·74760	0·01735	1 : 43	0·01068	0·00667	1 : 1·62	1 : 2·6	1 : 1·6	1 : 1·17	1 : 6·76	1 : 5·76			
9	0·80100	0·01682	1 : 50	0·00935	0·00747	1 : 1·8	1 : 2·25	1 : 1·25	1 : 1·24	1 : 5·06	1 : 4·06			
10	0·88100	0·01468	1 : 60	0·00801	0·00667	1 : 1·83	1 : 2·2	1 : 1·2	1 : 1·26	1 : 4·84	1 : 3·84			
11	1·01460	0·01869	1 : 54·2	0·01192	0·00667	1 : 1·55	1 : 2·79	1 : 1·79	1 : 1·14	1 : 7·78	1 : 6·78			
12	1·06800	0·01735	1 : 61·5	0·01135	0·00600	1 : 1·52	1 : 2·89	1 : 1·89	1 : 1·13	1 : 8·3	1 : 7·3			
Mittel	0·70932	0·01681	1 : 42·2	0·00990	0·00691	1 : 1·69	1 : 2·43	1 : 1·43	1 : 1·204	1 : 5·9	1 : 4·9			

Vergleichen wir nun die vier für die Zellformen des Collenchyms und Xylems von *Heracleum* und *Angelica* aufgestellten Tabellen, so finden wir zunächst aus der

Vergleichung der Tabellen III und V

für die Zellen des Collenchyms von *Heracleum* und *Angelica*, dass die beiden Tabellen in einigen Rubriken übereinstimmen, in anderen nicht. Gleich ist das Verhalten gegen chemische Reagentien, wenig verschieden Zahl, Richtung, Entfernung, Länge und Breite der Poren, ferner der Neigungswinkel der Zellwände (15—20° bei *Heracleum*, 10—25° bei *Angelica*, im Mittel also gleich).

Wenig verschieden sind ferner die durchschnittlichen Zellenlängen, jene des Collenchyms von *Angelica* etwas länger, hier ist auch der durchschnittliche Querdurchmesser etwas grösser und zwar um mehr als die Zunahme des Längsdurchmessers entsprechen würde, wesshalb das Verhältniss von Quer- zu Längsdurchmesser bei *Heracleum* (1:78·8) kleiner als bei *Angelica* (1:68·7) ist.

Viel bedeutender als alles bisher Erwähnte ist der Unterschied der Wandverdickung. Bei *Heracleum* ist das Verhältniss des Flächeninhaltes zu dem des Lumens 1:3·28, bei *Angelica* aber 1·349:1 oder 1:0·741, dort beträgt der Flächeninhalt der Zellwand mehr als $^3/_4$ des ganzen, hier etwa $^2/_5$, dort ist der Flächeninhalt der Zellwand grösser als der des Lumens, hier umgekehrt. Dort wurde als Verdickungsmass 0·766 gefunden, hier ist es 0·426.

Wäre das Verdickungsmass für die Festigkeit allein massgebend, so käme dem Collenchym von *Angelica* vermöge der durch Versuche bereits gefundenen Festigkeit des Collenchyms von Heracleum ein Festigkeitsmass von 68·1 Gr. für 0·01 □ Mm. der Zellwand zu (=(122·6×0·426):0·766).

Wenn es erlaubt ist, ein erst später gefundenes Resultat hier schon zu erwähnen, so sei bemerkt, dass durch die später vorgenommenen und in Tab. VII aufgestellten Versuche über die Festigkeit des Collenchyms von *Angelica* für 0·01 □ Mm. der Zellwand ein Festigkeitsmass von 79·3 Gr. gefunden wurde; das gibt zwischen dem aus den Zellformen berechneten und durch

Versuche gefundenen Festigkeitsmasse einen Unterschied von 11·2 Gr. Ist dieser auch gering, so muss er doch (vielleicht in irgend einem ebenfalls geringen Unterschiede der Zellen) seinen Grund haben und zeigt, dass die Festigkeit des Collenchyms (von *Angelica*) von dem Verdickungsmasse allein nicht abhängig ist.

Wir müssen uns vorläufig mit einem negativen Resultate begnügen.

Aus der

Vergleichung der Tabellen IV und VI

folgt, dass auch die Zellen des Xylems von *Heracleum* und *Angelica* sich in einigen Merkmalen gleichen, in anderen nicht. Wenig verschieden ist das Verhältniss des Flächeninhaltes von Lumen zu dem der Zellwand, nämlich 1:4·85 dort, 1:4·9 hier, daher das Verdickungsmass dort 0·829, hier 0·83. Hängt die Festigkeit von dem Verdickungsmasse allein ab, so muss sie bei beiden Geweben nahezu gleich sein. Ist sie nicht gleich, so ist eben das Verdickungsmass nicht alleinige Ursache. Kommt nach dem durch die Versuche mit *Heracleum* erhaltenen Resultate auch der Verholzung ein Einfluss auf die Festigkeit zu so muss, wenn letztere bei beiden Geweben ungleich ist, auch der Grad der Verholzung ein verschiedener sein oder es ist auch Verdickung und Verholzung allein nicht massgebend; das wäre auch dann noch der Fall, wenn ein etwa geringer Unterschied in der Verholzung vorhanden wäre, der den bedeutenden Unterschied in der Tragfähigkeit zu erklären nicht im Stande wäre.

Nun wurde durch die später angestellten und in Tab. VIII aufgenommenen Versuche die Festigkeit des Xylems von *Angelica* für 0·01 □ Mm. des Querschnittes überhaupt 224·7 Gr., für 0·01 □ Mm. der Zellwand aber 273·5 Gr. gefunden. Selbst wenn die Verholzung bei *Angelica* bedeutend geringer ist als bei *Heracleum*,[1] lässt sich dadurch die so bedeutend geringere Festigkeit des Xylems von *Angelica* nicht erklären, denn die Festigkeit von *Heracleum* für 0·01 □ Mm. des Gesammtquerschnittes (also sammt Lumina) — 293 Gr. — ist noch immer

[1] Durch später vorgenommene Reactionen wurde die Verholzung des Xylems beider Pflanzen nahezu gleich gefunden.

bedeutender als jene für 1·01 □ Mm. der Zellwand bei *Angelica* —-273·5 Gr. —. Es muss demnach für die geringere Festigkeit bei *Angelica* noch ein anderer Grund vorhanden sein.

Die Unterschiede, welche die Poren und die Neigungswinkel der Zellwände darbieten, sind gering. Bedeutende Differenzen sehen wir nur in Bezug auf die Längsdurchmesser der Zellen, die von *Heracleum* (1·037 Mm.) sind bedeutend grösser als die von *Angelica* (0·709 Mm. im Mittel). Es dürfte also doch der Länge der Zellen ein Einfluss auf die Festigkeit zukommen. Bei den Versuchen mit *Heracleum* war dies noch nicht deutlich ersichtlich und wurde nicht ausgesprochen, weil eben dort die Zellen des Xylems in Bezug auf die Länge von denen des Collenchyms nur wenig verschieden gefunden worden war, und der etwaige Einfluss der Zellenlänge mit dem der Verdickung und Verholzung zusammenwirkt, von diesem nicht geschieden werden konnte.

Bei Vergleichung der Tab. III und V wurde gefunden, dass das Festigkeitsmass des Collenchyms von *Angelica*, nach dem von *Heracleum* berechnet, 68·1 Gr. betragen sollte, und es wurde gesagt, dass die Differenz zwischen diesem berechneten und dem aus den Versuchen gefundenen 11·2 Gr. beträgt; es wurde dort (pag. 315) unentschieden gelassen, wodurch diese Differenz bedingt sein dürfte. Wenn nun nach dem aus Vergleichung der Tabelle IV und VI gewonnenen Resultate die Zellenlänge einen Einfluss auf die Festigkeit beim Xylem hat, so ist kein Grund vorhanden, der uns hindern würde, anzunehmen, dass es auch beim Collenchym so sein werde, und es müsste demnach die Zellenlänge des Collenchyms von *Angelica*, weil die Festigkeit desselben grösser ist als sie nach den aus den Versuchen mit *Heracleum* gewonnenen Resultaten berechnet wurde, grösser sein als die von *Heracleum*, und das ist, wie aus Tab. III und V ersichtlich, auch wirklich der Fall.

Berücksichtigt man nun für die Berechnung des Festigkeitsmasses des Collenchyms von *Angelica* neben der Wandverdickung auch noch die Zellenlänge, so findet man, dass der durchschnittliche Längsdurchmesser der Collenchymzelle von *Heracleum* zu dem bei *Angelica* sich verhält wie 1:1·04, es sollte also vermöge

der Wandverdickung und Zellenlänge dem Collenchym von *Angelica* ein Festigkeitsmass von (68·1 × 1·04 =) 70·8 Gr. zukommen.

Zwischen diesem und dem durch Experimente gefundenen ist noch immer ein Unterschied von 8·3 Gr. zu Gunsten des letzteren. Auch für diesen Unterschied muss ein Grund vorhanden sein. Berücksichtigt man auch noch die Querdurchmesser der Zellen, so sieht man, dass sie im Verhältnisse von 1 : 1·14 stehen und nun entspricht dem Collenchym von *Angelica* ein berechnetes Festigkeitsmass von (70·8 × 1·14 =) 80·7 Gr., dieses ist von dem durch Versuche gefundenen nur um 1·4 Gr. verschieden.

Wir sehen somit, dass der Fehler, der sich ergibt, wenn wir aus dem bekannten Festigkeitsmass von *Heracleum* und den bekannten Unterschieden der Zellformen von *Heracleum* und *Angelica* das Festigkeitsmass von *Angelica* berechnen, dabei aber von den Unterschieden blos jenen in der Wandverdickung berücksichtigen, sich beheben lässt, wenn wir auch noch die übrigen bekannten, wenn auch geringeren Unterschiede berücksichtigen, nämlich die in Bezug auf Längs- und Querdurchmesser. Es dürfte demnach wohl der Schluss berechtigt sein, dass beim Collenchymgewebe von *Heracleum* und *Angelica* neben dem Verdickungsmasse der Zelle auch noch die Grösse des Längs- und Querdurchmessers von Einfluss auf das Festigkeitsmass sei.

Das durch Berechnung gefundene Festigkeitsmass des Collenchyms von *Angelica* ist um 1·4 Gr. grösser als das durch Versuche bestimmte. Der Unterschied ist so gering, dass man ihn wohl vernachlässigen könnte, umsomehr als er ja auch in einer Ungenauigkeit der Experimente mit *Angelica* oder in einem Fehler bei den Messungen der Zellformen seinen Grund haben könnte. Aus diesem Grunde hätte vielleicht das durch den Versuch gefundene Festigkeitsmass von Angelica grösser ausfallen können als das berechnete, aus demselben Grunde aber hätte jener Unterschied noch grösser erhalten werden können. Will man aber mit dem rechnen, was vorliegt, so müsste man jenen Unterschied von 1·4 Gr. zu Gunsten des berechneten Festigkeitsmasses eben dadurch erklären, dass das Festigkeitsmass nicht in demselben Verhältnisse zunehme wie der Längs- und Querdurchmesser, sondern das berechnete Festigkeitsmass müsste noch

multiplicirt werden mit einem Factor, kleiner als 1, in unserem Falle $k = 0{\cdot}9825$ $(=(79{\cdot}3:70{\cdot}8 = 1{\cdot}12):1{\cdot}14)$.

Je kleiner der Längs-, je grösser der Querdurchmesser, desto geringer sein Einfluss auf die Festigkeit, desto mehr aber nähert sich die Zelle der Parenchymform. Damit stimmt überein einerseits, dass die mechanisch wirksamen Gewebe aus prosenchymatischen Zellen bestehen (wo also der Längs- den Querdurchmesser vielfach übertrifft), anderseits, dass parenchymatische Gewebe trotz ihrer starken Wandverdickung ein geringes Festigkeitsmass haben, wie im I. Theile pag. 316 bei Kork und Sklerenchym gefunden wurde.

Inwieweit dieses zuletzt gefundene, den Längs- und Querdurchmesser der Zelle betreffende Resultat allgemeine Geltung habe, ob der Einfluss der Zelldicke mit der Zunahme derselben für die Festigkeit günstig, wenn auch in abnehmendem Grade, bleibe, oder endlich Null oder vielleicht gar die Festigkeit verringernd werde, möge erst durch weitere ad hoc anzustellende Versuche ermittelt werden. [1] Aus dem Vorstehenden soll vorderhand blos das Resultat gezogen werden, dass dem Längs- und Querdurchmesser der Zelle ein Einfluss auf die Festigkeit zukomme. — Endlich ist aus der

Vergleichung der Tabellen V und VI

für die Zellformen des Xylems und Collenchyms von *Angelica silv.* zu ersehen, dass der mittlere Längsdurchmesser der Xylemzelle (0·709 Mm.) zu dem der Collenchymzelle (1·323 Mm.) sich verhält sowie 1:1·86, die Querdurchmesser aber wie 1:1·14 sich verhalten. Wären die beiden Gewebe blos in Bezug auf Quer- und Längsdurchmesser verschieden und wächst die Festigkeit mit diesen in geradem Verhältnisse, so müsste die Festigkeit des Collenchyms 2·12mal so gross als die des Xylems sein. Und selbst, wenn die Dicke keinen oder gar einen ungünstigen Einfluss hätte, wäre in letzterem Falle das Festigkeitsmass des Coll-

[1] Der Einfluss des Längs- und Querdurchmessers der Zelle wird erst dann seinem Werthe nach bestimmt werden können, wenn auch noch viele andere, in vorliegender Arbeit nicht in Rechnung gezogene (chemische, optische etc.) Unterschiede der Gewebe ihre Berücksichtigung gefunden haben werden.

enchyms noch immer 1·63mal so gross als das des Xylems. Nun sind aber die Zellformen beider Gewebe auch in anderen Punkten verschieden. Die Unterschiede in den Neigungswinkeln der Zellwände sind gering. Bedeutender ist jener in den Verdickungsmassen, das des Collenchyms ist 0·426, das des Xylems 0·83, beide verhalten sich wie 1:1·94. Berücksichtigt man nun auch noch den Unterschied in Betreff der Poren, sehr wenige beim Collenchym, sehr zahlreiche beim Xylem und bedenkt man, dass bei letzterem höchstens drei Poren in demselben Querschnitte liegen, somit bei der geringen Breite derselben nie mehr als etwa $^1/_8$ der Querschnittsfläche der Zellwand verloren geht, so bleibt für das Xylem ein Verdickungsmass von 0·81, und nun verhalten sich beide Verdickungsmasse wie 1:1·877. Es sollte demnach vermöge der Wandverdickung allein das Festigkeitsmass des Xylems 1·877mal so gross als das des Collenchyms sein. Berücksichtigt man nun aber noch die bereits früher in Rechnung gezogenen Unterschiede in Betreff auf Längs- und Querdurchmesser und nimmt man den für das Xylem günstigsten Fall, wo nämlich der Einfluss der Zelldicke auf die Festigkeit ein ungünstiger ist, so müsste das Festigkeitsmass des Xylems $(1{\cdot}877 \times 1{\cdot}14):1{\cdot}86 = 1{\cdot}21$mal so gross als das des Collenchyms sein; nimmt man aber den für das Xylem ungünstigsten Fall, wo die Festigkeit mit der Zelldicke wächst, so müsste das Festigkeitsmass des Collenchyms $(1{\cdot}86 \times 1{\cdot}14):1{\cdot}877 = 1{\cdot}129$mal so gross als das des Xylems sein. Was immer man annimmt, selbst wenn auch Zelldicke, Zelllänge und Poren keinen Einfluss hätten, auf keine Weise lässt sich durch das Verhältniss der Verdickungsmasse (0·426:0·83) allein erklären, dass, wie aus Tab. VII und VIII ersichtlich, das Festigkeitsmass des Xylems 3·44mal so gross als das des Collenchyms ist. So bleibt wie bei *Heracleum* auch hier nichts anderes übrig, als anzunehmen, dass die grosse Festigkeit des Xylems von *Angelica* hauptsächlich durch die Verholzung bedingt ist.

Aus den Unterschieden in den Zellformen des Collenchyms und Xylems sowohl von *Heracleum* als auch *Angelica*, und aus der bekannten Festigkeit des Xylems beider Pflanzen sollte sich nun auch noch ein Schluss ziehen lassen auf das Verhältniss, in welchem die Verholzungsgrade beider Gewebe stehen. Wenden

wir demnach die aus jenen Unterschieden gewonnenen Resultate auf beide Pflanzen in gleicher Weise an, so ergibt sich

a) für ***Heracleum Sphondylium***:

Das Verhältniss der Längsdurchmesser der Zellen von Collenchym und Xylem sowie . . . . . . 1·22 : 1;
Verhältniss der Querdurchmesser . . . . 1 : 1·07;
Verhältniss der Verdickungsmasse (0·766 und 0·829; nach Abzug des Verlustes an Zellwand durch die Poren 0·766 und 0·809) . . . . 1 : 1·05.

Setzt man diese Verhältnisse zusammen, so geben sie, wenn die durch sie ausgedrückten Unterschiede der Zellformen von Einfluss auf die Festigkeit sind, das Verhältniss an, in welchem die Festigkeitsmasse beider Gewebe stehen würden, wenn eben nur jene Unterschiede und nicht auch der der Verholzung massgebend wären. Wir finden ein Verhältniss von 1·088 : 1
oder . . . . 1 : 0·919.
Die durch Versuche gefundenen Festigkeitsmasse verhalten sich aber wie . . . . 1 : 3·53 ,
das heisst, wenn das Festigkeitsmass des Collenchyms = 1 ist, ist das des Xylems 3·53, während es ohne Rücksicht auf die Verholzung 0·919 sein müsste. Diese beiden Festigkeitsmasse stehen im Verhältnisse von 1 : 3·84, das heisst, der Verholzung allein zufolge müsste das Festigkeitsmass des Xylems 3·84mal so gross sein als das des Collenchyms. Jenes Verhältniss 1 : 3·84 gibt somit den Einfluss der Verholzung auf die Festigkeit an, und wir können die Zahl 3·84 als das Verholzungsmass des Xylems von *Heracleum* betrachten.

Auf dieselbe Weise finden wir

b) für ***Angelica silvestris***:

ein Verhältniss der Längsdurchmesser der Zellen von Collenchym und Xylem wie . . . . 1·86 : 1;
Verhältniss der Querdurchmesser . . . . 1·14 : 1;
Verhältniss der Verdickungsmasse (0·426 und 0·83 oder nach Abzug des Verlustes an Zellwand durch die Poren 0·0426 und 0·81) . . . . . 1 : 1·877.

Setzt man wie bei *Heracleum* diese Verhältnisse zusammen, so erhält man . . . . 1·129 : 1
oder . . . . 1 : 0·885
als das Verhältniss der Festigkeitsmasse ohne Rücksicht auf Verholzung. Die durch Versuche gefundenen Festigkeitsmasse aber verhalten sich wie 1:3·44, das heisst, wenn das Festigkeitsmass des Collenchyms = 1 ist, ist das durch Versuche gefundene des Xylems = 3·44, während es ohne Rücksicht auf Verholzung 0·885 sein müsste. Beide Festigkeitsmasse verhalten sich wie 1 : 3·88. Dieses Verhältniss zeigt uns den Einfluss der Verholzung auf die Festigkeit an und wir können die Zahl 3·88 als das Verholzungsmass des Xylems von *Angelica* betrachten.

Die beiden Verholzungsmasse des Xylems von *Heracleum*, 3·84, und das des Xylems von *Angelica*, 3·88, sind nur um 0·04 verschieden, sie verhalten sich zu einander wie 1:1·01. Dem zufolge sollte der Grad der Verholzung beim Xylem beider Pflanzen nahezu gleich sein.

Dies wurde durch die nun vorgenommenen Reactionen mit Chlorzinkjod, mit Jodlösung und Schwefelsäure, sowie mit schwefelsaurem Anilin bestätigt. Es konnte kein nennenswerther constanter Unterschied in der Intensität der Färbung beobachtet werden. Geringe Unterschiede, die sich bald zu Gunsten des Xylems von *Heracleum*, bald zu Gunsten des Xylems von *Angelica* ergaben, mögen in einem geringen Unterschiede in der Dicke der Schnitte ihren Grund haben.

Es folgen nun die aus den Versuchen über die Festigkeit des Collenchyms und Xylems gewonnenen Resultate. (Siehe pag. 322.)

Das Festigkeitsmass des Collenchyms für 0·01 □ Mm. des Querschnittes überhaupt ist 33·4 Gr., für 0·01 □ Mm. der Zellwand 79·3 Gr. Zu allen drei Versuchen wurde dasselbe Bündel benützt, es war deshalb nicht nothwendig, in jedem Falle den Flächeninhalt der Zellwand zu bestimmen, umsoweniger als das Verhältniss von Zellwand zu Lumen = 1:1·37 von dem aus der Zellform berechneten, 1:1·349 nur wenig abweicht, so dass z. B. für den ersten Versuch das Festigkeitsmass nach letzterem Verhältnisse berechnet 72·2 Gr. sein würde, während es durch den Versuch 74·1 Gr. gefunden wurde.

Collenchym von *Angelica silvestris*:

Tab. VII.

Versuch:	Länge:	Flächeninhlt des Querschnittes: (*a*)	Festigkeitsmass:	Festigkeitsmass für 0·01 □Mm.:	Differenz vom Mittel:	Flächeninhalt der Zellwände: (*b*)	Flächeninhalt der Lumina:	Verhältniss von *b* : *a*:	Verhältniss von *c* : *a*:	Verhältniss von *b* : *c*:	Festigkeitsmass für 0·01 □Mm. der Zellwand:	Differenz vom Mittel:
	Mm.	□ Mm.	Gr.	Gr.	Gr.	□ Mm.	□ Mm.				Gr.	Gr.
1	42	0·3185	996	31·2	—2·2	0·13438	0·18412	1 : 2·37	1 : 1·73	1 : 1·37	74·1	—5·2
2	34	0·3589	1153	32	—1·4	0·15135	0·20755	„	„	„	76·1	—3·2
3	25	0·3528	1306	37	+3·6	0·14886	0·20294	„	„	„	87·7	+8·4
		Mittel . .		33·4				„	„	„	79·3	

Xylem von *Angelica silvestris*:

Tab. VIII.

Versuch:	Länge:	Flächeninhlt des Querschnittes: (*a*)	Festigkeitsmass des Gesammtquerschnittes:	Festigkeitsmass für 0·01 □Mm.:	Differenz vom Mittel:	Flächeninhalt der Zellwände: (*b*)	Flächeninhalt der Lumina: (*c*)	Verhältniss von *b* : *a*:	Verhältniss von *c* : *a*:	Verhältniss von *c* : *b*:	Festigkeitsmass für 0·01 □Mm. der Zellwand:	Differenz vom Mittel:
	Mm.	Gr.	Gr.	Gr.	Mm.	Mm.	Mm.				Gr.	Gr.
1	46	0·0608	1321	217·2	—7·5	0·05008	0·01072	1 : 1·21	1 : 5 67	1 : 4·67	263·7	—9·8
2	40	0·06211	1410	226·9	+2·2	0·05116	0·01095	„	„	„	277·5	+4·0
3	33	0 08893	2046	230	+5·3	0·07325	0·01568	„	„	„	279·3	+5·8
		Mittel . .		224·7				„	„	„	273·5	

Das Festigkeitsmass des Xylems für 0·01 □Mm. des Querschnittes überhaupt ist 224·7 Gr., für 0·01 □Mm. der Zellwand 273·5 Gr. Auch hier wurde zu allen drei Versuchen dasselbe Bündel benützt und desshalb das Verhältniss von Lumen zu Zellwand nur für den ersten Versuch bestimmt.[1] Dieses Verhältniss, 1 : 4·67, weicht von dem aus den Zellformen berechneten, 1:4·9, nur um wenig ab, so dass das Festigkeitsmass für den ersten Versuch nach letzterem Verhältnisse berechnet 261·6 Gr. wäre, während durch den Versuch 263·7 Gr. gefunden wurde.

Es dürften somit sowohl die in Tab. V und VI an den Zellformen als auch die nach Tab. VII und VIII an den Querschnitten angestellten Messungen nahezu richtig sein.

Sind die aus der Vergleichung der Tabellen, die durch die Versuche mit *Heracleum Sphondylium* und *Angelica silvestris* erhalten wurden, gezogenen Resultate richtig, dass nämlich ausser dem Verdickungsmasse auch die Zellenlänge und Dicke und beim Xylem insbesondere der Grad der Verholzung einen Einfluss zu Gunsten einer grösseren Festigkeit habe, so müssen, indem wir nun rückwärts schliessen, damit auch die mit Umbelliferen im I. Th. dieser Beiträge gemachten Versuche übereinstimmen; wenigstens der Einfluss der Wandverdickung und Verholzung wird sich noch constatiren lassen, weniger der der Zellenlänge und Dicke, da eben die zu den damals angestellten Versuchen benützten Bündel nicht mehr zur Verfügung standen.

Von den im I. Th. in Tab. XIV. c. p. 317 zusammengestellten Versuchen mit dem Xylem von

Archangelica officinalis

wird der vierte Versuch gewählt, weil dieser von dem gefundenen durchschnittlichen Festigkeitsmasse, nämlich 144·1 Gr. für 0·01 □Mm. des Querschnittes überhaupt, 278·5 Gr. für 0·01□Mm. der Zellwand, am wenigsten abweicht. Für diesen Versuch

---

[1] Hier aber wurde das Verhältniss ausser durch die schon früher angegebene Methode auch noch so bestimmt, dass das Verhältniss von Lumen zu Zellwand an einer grossen Anzahl von Zellen bestimmt und daraus das Mittel gezogen wurde.

ergibt sich für 0·01 □ Mm. der Zellwand ein Festigkeitsmass von 282·7 Gr. (= (278·5 × 146·3) : 144·1). Der Flächeninhalt des Gesammtquerschnittes beträgt 0·04483 □ Mm., das Festigkeitsmass für diesen 710 Gr. Dieses blos für die Zellwände in Anspruch genommen, gibt einen Flächeninhalt der Zellwände von 0·02511 □ Mm. (= 7·10 : 282·7), einen Flächeninhalt der Lumina von 0·01972 □ Mm. (= 0·04483—0·02511).

Der Flächeninhalt der Lumina verhält sich zu dem der Zellwände sowie 1 : 1·273, das gibt für das Xylem ein Verdickungsmass von 0·56 (2·273 : 1·273 = 1·785; 1 : 1·785 = 0·56). Dieses Verdickungsmass ist gering, woraus, da die Festigkeit doch bedeutend, zu schliessen wäre, dass den übrigen massgebenden Factoren, also der Zellenlänge und Dicke und insbesondere der Verholzung ein bedeutender Einfluss zukommen werde. Bei den Untersuchungen mit *Heracleum* und *Angelica* wurden die Versuche über die Festigkeit und die Messungen an den Zellformen womöglich an demselben Bündel oder wenigstens an Bündeln aus nebeneinander liegenden Partien desselben Internodiums derselben Pflanze vorgenommen, weil ja die Festigkeit des Gewebes mit dem Alter des Internodiums sich ändert, somit nur die Festigkeit und Zellform desselben Internodiums mit einander verglichen werden sollen. Zur nachträglichen Messung der Zellenlänge und Dicke von *Archangelica* standen mir, wie schon erwähnt, die zu den Versuchen über die Festigkeit benützten Pflanzentheile nicht mehr zur Verfügung, auch nicht einmal — im Januar — frische Pflanzentheile, so dass Herbarexemplare und auch da nur verhältnissmässig junge Theile genommen werden mussten.

Ein sicherer Schluss von der Festigkeit jener Pflanzentheile auf die Zellform dieser ist daher nicht gut möglich, aber doch wurde gefunden, dass die Zellformen des Xylems von *Archangelica* von denen des Xylems von *Angelica* sich nicht besonders unterscheiden, sich mithin nicht durch bedeutende Zellenlänge oder Dicke auszeichnen, so dass also wirklich der Verholzung der massgebendste Einfluss auf die Festigkeit zukomme.

Das wird noch klarer, wenn man nun auch noch einen der mit dem Collenchym von *Archangelica* angestellten Versuche untersucht und zwar wird aus Tab. XIV. d aus demselben Grunde

wie beim Xylem der fünfte Versuch gewählt. Das Festigkeitsmass auf 0·01 □ Mm. der Zellwand beträgt 90·2 Gr. Das Festigkeitsmass für den Gesammtquerschnitt = 0·10135 □ Mm. ist 440 Gr., daher der Flächeninhalt der Zellwände = 0·04877 □ Mm., der der Lumina = 0·05258 □ Mm., Verhältniss beider 1 : 1·078, daraus das Verdickungsmass = 0·481. Die Verdickungsmasse von Collenchym und Xylem verhalten sich wie 1 : 1·16; die Festigkeitsmasse aber wie 1 : 3·13. Die Messungen für die Zellenlänge des Collenchyms an dem Herbarexemplare ergaben eine grössere Länge der Collenchymzelle im Vergleiche zu der des Xylems, was zu Gunsten einer grösseren Festigkeit des Collenchyms sprechen würde. Doch, selbst wenn wir den Einfluss der Zellenlänge ganz vernachlässigen, lässt sich durch das Verhältniss der Verdickungsmasse das der Festigkeitsmasse nicht erklären, so dass auch hier der Schluss berechtigt sein dürfte, es komme der Verholzung ein bedeutender Einfluss auf die Festigkeit zu.

Endlich wurden noch von den im I. Theile Tab. XV. p. 319 aufgestellten Versuchen mit

Conium maculatum

die vom Mittel am wenigsten abweichenden gewählt, nämlich der zweite aus der Tab. a für Collenchym und der zweite aus der Tab. b für Xylem. Die Verdickungsmasse beider Gewebe, 0·657 und 0·699, verhalten sich wie 1 : 1·063; die Festigkeitsmasse dieser Versuche für 0·01 □ Mm. der Zellwand, 118·7 Gr. und 207 Gr., verhalten sich wie 1 : 1·74. Wenn wir auch hier von der grösseren Zellenlänge des Collenchyms, die zu Gunsten einer grösseren Festigkeit desselben sprechen würde, absehen, so bleibt auch hier durch das 1·063mal so grosse Verdickungsmass des Xylems das 1·74mal so grosse Festigkeitsmass unaufgeklärt und es dürfte auch hier der Verholzung ein grosser Einfluss auf die Festigkeit zukommen.

Fassen wir nun den Gang der Untersuchung und die Resultate übersichtlich zusammen:

I. Es wurden zunächst Collenchym und Xylem von *Heracleum Sphondylium* auf ihre Festigkeit untersucht, hierauf die Zellen beider Gewebe gemessen und nun versucht, den Unter-

schied in der Festigkeit zu erklären aus den Unterschieden in den Zellformen. Von letzteren waren einige, die in Bezug auf Längs- und Querdurchmesser, Poren, Neigungswinkel der Zellwände, Inhalt, selbst in ihrer Gesammtheit nicht geeignet, die bedeutend grössere Festigkeit des Xylems zu erklären, da sie entweder zu gering waren (Neigungswinkel) oder viel eher zu Gunsten einer grösseren Festigkeit des Collenchyms sprechen dürften (Poren, Längsdurchmesser). Der Unterschied der Verdickungsmasse beider Gewebe ist zwar bedeutender, aber allein noch immer nicht geeignet, die grosse Festigkeit des Xylems zu erklären, so dass nichts übrig bleibt, als dem noch unberücksichtigten Unterschiede, nämlich der Verholzung des Xylems einen bedeutenden Einfluss auf die Festigkeit zuzusprechen.

II. Nun wurden die Zellen des Collenchyms und Xylems von *Angelica silvestris* gemessen und versucht, aus dem Unterschiede in den Zellformen des Collenchyms von *Heracleum* und *Angelica* und der bekannten Festigkeit des Collenchyms von *Heracleum* jene von *Angelica* zu berechnen, und dann erst wurde die Festigkeit des Collenchyms von *Angelica* durch Versuche bestimmt. Es wurde gefunden, dass das unter Berücksichtigung der Verdickungsmasse allein berechnete Festigkeitsmass kleiner ist, als das durch Versuche bestimmte, auch dann noch, wenn man auch die grössere Länge der Zellen von *Angelica* zu Gunsten einer grösseren Festigkeit in Rechnung zieht, erst wenn man auch noch die grössere Dicke der Zellen von *Angelica* berücksichtigt, gleicht sich jene Differenz zwischen dem berechneten und dem durch Versuche gefundenen Festigkeitsmasse fast vollständig aus. Daraus wurde geschlossen, dass auch dem Längs- und Querdurchmesser ein günstiger Einfluss auf die Festigkeit zukomme, aber unentschieden musste vorderhand bleiben, ob dieser Einfluss mit dem Wachsen der Zellenlänge und Dicke gleich bleibe oder sich ändere. Letzteres scheint zwar nicht für den Längs-, wohl aber für den Querdurchmesser wahrscheinlich zu sein; damit würde übereinstimmen, dass die mechanisch wirksamen Gewebe aus prosenchymatischen Zellen bestehen, wogegen parenchymatische trotz starker Wandverdickung eine geringe Festigkeit haben.

In Betreff des Xylems wurde wie bei *Heracleum* auch hier gefunden, dass nur durch den günstigen Einfluss der Verholzung die grosse Festigkeit desselben erklärt werden kann.

III. Das den Einfluss der Verholzung betreffende Resultat wurde bestätigt durch einen Rückschluss auf die im I. Th. dieser Beiträge aufgestellten Versuche mit *Archangelica officinalis* und *Conium maculatum*.

Dass nebst dem Verdickungsmasse beim Xylem der untersuchten Pflanzen auch der Verholzung ein bedeutender günstiger Einfluss auf die Festigkeit zukomme, ist durch vorstehende Untersuchung wohl erwiesen. Dass auch dem Längs- und Querdurchmesser ein Einfluss zukomme, wurde zwar constatirt, diesen Einfluss seiner Art und seinem Werthe nach genau festzustellen, müssen noch weitere Versuche gemacht und weitere Unterschiede der Zellformen berücksichtigt werden.
